Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 15, No. 2, 2025, p. 247-261

Comparison of Energy Consumption Optimization in Sugar Factory Using Meta-Heuristic Algorithms

M. Boroun[1], M. Ghahderijani[1*], A. A. Naseri[2], B. Beheshti[1]

1- Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: Ghahderijani@srbiau.ac.ir)

Received: 17 August 2024 Revised: 29 September 2024 Accepted: 09 November 2024 Available Online: 28 April 2025	**How to cite this article:** Boroun, M., Ghahderijani, M., Naseri, A. A., & Beheshti, B. (2025). Comparison of Energy Consumption Optimization in Sugar Factory Using Meta-Heuristic Algorithms. *Journal of Agricultural Machinery*, *15*(2), 247-261. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2024.89450.1278

Introduction

Energy analysis offers significant benefits by establishing a foundation for resource conservation, quantifying the energy consumed at each stage of production, identifying processes that require minimal energy input, and supporting sustainable management practices. In sustainable agricultural systems, maximizing the productivity of input energies is a key objective. This study aims to assess energy consumption patterns within the sugar industry and to compare the optimization of energy consumption indicators using two meta-heuristic algorithms, ultimately seeking to enhance resource efficiency and promote sustainable production methods.

Materials and Methods

This study evaluated energy efficiency and environmental impacts in sugarcane-based sugar production at Dehkhoda Sugarcane Agro-Industry Company (in Khuzestan Province, Iran), during the 2019-2020 agricultural cycle. Data collection integrated field questionnaires, expert interviews, operational records from the facility, and national agricultural databases (Ministry of Agriculture Jihad statistics and energy balance sheet). Energy flow were analyzed using MATLAB statistical software and the Equinonet database, with comparative optimization through genetic algorithms and imperialist competitive algorithms to identify efficiency improvements.

Results and Discussion

The results showed that, for the majority of indicators evaluated, the imperialist competitive algorithm outperformed the genetic algorithm in optimizing energy consumption. In addition to reducing the environmental impacts of this profitable industry in the country, it has a high potential for energy savings. The total energy input reduction with the genetic algorithm was 17.05%, while the imperialist competitive algorithm achieved a higher reduction of 26.40%. Natural gas consumption decreased by 3.82% using the genetic algorithm, and by 27.60% with the imperialist competitive algorithm. Direct energy savings were 16.97% for the genetic algorithm and 27.48% for the imperialist competitive algorithm. Soil acidification reduction was 23.03% with the imperialist competitive algorithm and 19.19% with the genetic algorithm, compared to conditions before optimization.

Conclusion

https://doi.org/10.22067/jam.2024.89450.1278

In general, it can be concluded that, given the growing demand for sugar production and related industries, as well as the high efficiency of the sugar production sector, it is advisable to utilize expert knowledge and apply meta-heuristics methods to optimize energy consumption and available inputs with the aim of reducing harmful environmental impacts.

Keywords: Imperialist competitive, Genetic algorithm, Meta-heuristics, Sugarcane

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۲٦۱-۲٤۷

مقایسه بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در کارخانه تولید شکر با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

میثم برون[۱]، محمد قهدریجانی[۱]*، عبدعلی ناصری[۲]، بابک بهشتی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

چکیده

از مزایای تحلیل انرژی، فراهم آوردن مبنا و اساسی برای محافظت از منابع، تعیین انرژی مصرف‌شده در هر فرآیند تولیـد و مـدیریت پایـدار منـابع می‌باشد. افزایش بهره‌وری نهاده‌های تولید (انرژی‌های ورودی)، هدف نهایی سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌باشد. هدف از انجام ایـن مطالعـه، بررسـی وضعیت مصرف انرژی در صنعت تولید شکر و مقایسه میزان بهینه‌سازی شاخص‌های مصرف انرژی با استفاده از دو الگوریتم فراابتکـاری مـی‌باشـد. بـر همین اساس به ارزیابی شاخص‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی آن در صنعت تولید شکر در شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا پرداخته شد. بـدین منظور جمع‌آوری اطلاعات در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به روش‌های مختلفی از جمله تکمیل پرسشنامه، گفتگو و مصاحبه با کارشناسان، استفاده از آمار موجود در کتابخانه‌ها و برخی پایگاه داده انجام شد و در مراحل مختلف از آمار و اطلاعات موجود در شرکت مورد مطالعه و همچنین آمارنامه کشـاورزی وزارت جهاد کشاورزی و ترازنامه انرژی استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری متلب و پایگاه داده اکواینونت ارزیابی و بـه دو روش الگـوریتم ژنتیک و رقابت استعماری، مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد در اغلب شاخص‌های مورد مطالعه در روش الگـوریتم رقابـت اسـتعماری، بهینه‌سازی مصرف انرژی نسبت به روش الگوریتم ژنتیک ارجحیت داشته است و علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، توان بالایی جهت صرفه‌جـویی در مصرف انرژی را دارا خواهد بود. به‌طوری‌که در بخش کل انرژی نهاده‌ها در الگوریتم ژنتیک، ۱۷/۰۵ درصد و در الگوریتم رقابـت اسـتعماری، مقـدار بهینه‌سازی ۲۶/۴۰ درصد محاسبه گردید. میزان کاهش مصرف گاز طبیعی در روش الگوریتم ژنتیک ۳/۸۲ درصد و در روش الگوریتم رقابت اسـتعماری ۲۷/۶۰ درصد گزارش شد. میزان صرفه‌جویی در انرژی مستقیم در روش الگوریتم ژنتیک، ۱۶/۹۷ درصد و در روش الگوریتم رقابـت اسـتعماری، ۲۷/۴۸ درصد ارزیابی گردید. در روش الگوریتم رقابت استعماری میزان کاهش در اسیدی شدن خاک، ۲۳/۰۳ درصد و در روش الگوریتم ژنتیک، ۱۹/۱۹ درصـد نسبت به شرایط قبل از بهینه‌سازی بود. در حالت کلی می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که با توجه به نیاز روزافـزون بـه تولیـد شـکر و سـایر صـنایع تکمیلی و وابسته به این صنعت ارزشمند و نیز بازدهی بالای صنعت تولید شکر، بهتر است با استفاده از دانش متخصصین امر، از روش‌هـای فراابتکـاری جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و نهاده‌های موجود با هدف کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، رقابت استعماری، فراابتکاری، نیشکر

مقدمه

صنایع تبدیلی کشاورزی، محل هـم‌افزایـی صـنعت و کشـاورزی است. این صنعت نقش مهمی در تأمین امنیت غـذایی، اشـتغال‌زایـی، عمران و توسعه مناطق روستایی دارد. این موضوع سبب توزیـع بهتـر درآمـد و رفـاه و در نتیجـه برقـراری عـدالت اجتمـاعی خواهـد شـد (Najafi, Fehresti Sani, Nazari, & Neshat, 2018).

تحلیل انرژی با هدف مـدیریت کـارایی منـابع کمیـاب بـه‌منظور بهبود تولید کشـاورزی ضـروری بـوده و از ایـن طریـق فعالیـت‌هـای تولیدی کارآمـد و اقتصـادی مشـخص مـی‌گردنـد. از عوامـل مهـم و تأثیرگذار در تولید پایدار محصولات غذایی و کشاورزی، مقـدار انـرژی ورودی به‌ازای تولید یک واحـد از محصـول مـی‌باشـد. انـرژی نقـش تأثیرگذاری در توسعه بخش‌های مهم اقتصادی از قبیل حمل و نقـل،

۱- گروه مهندسی سیستم‌هـای کشـاورزی، واحـد علـوم و تحقیقـات، دانشـگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیسـت، دانشـگاه شـهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Ghahderijani@srbiau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2024.89450.1278

صنعت و کشاورزی دارد. ارزیابی انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در یک فرآیند تولیدی از نظر ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها، دارای اهمیت می‌باشد. به این دلیل تحقیقات بسیاری از محققان به سمت مدیریت انرژی معطوف می‌باشد (Soleimani & Ghafarzadeh, 2022).

هرچه مقدار انرژی تولیدی نسبت به انرژی مصرفی بیشتر باشد، یا به عبارت دیگر، میزان بهره‌وری انرژی بیشتر باشد، توسعه پایدار کشاورزی بیشتر بوده و هرچه این نسبت کوچک‌تر باشد، تخریب محیط‌زیست و ناپایداری اکولوژیکی را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، استفاده بیش از حد انرژی باعث بروز برخی از مشکلات مربوط به سلامتی انسان و محیط‌زیست می‌شود؛ بنابراین بررسی انتشار آلاینده‌ها در فرآیندهای تولید مواد غذایی امری ضروری به نظر می‌رسد (Kouchaki-Penchah, Sharifi, Mousazadeh, Zarea-Hosseinabadi, & Nabavi-Pelesaraei, 2016).

نیشکر مهم‌ترین محصولی است که برای تولید شکر کشت می‌شود. حدود ۶۰ درصد شکر جهان از نیشکر و ۴۰ درصد آن از چغندرقند تولید می‌شود. علاوه بر تولید شکر، مواد دیگری نیز مانند علوفه، فیبر، خوراک دام، ملاس از نیشکر تولید می‌شود (TaheriGaravand, Asakereh, & Haghani, 2010). کارخانجات قند و شکر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جوامع صنعتی ایفای نقش می‌نمایند. میزان مصرف انرژی در این واحدهای تولیدی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و می‌بایست این میزان مصرف انرژی، بهینه و هدفمند گردد (Malek, Hashemian, & Mehrgan, 2018).

شدت و میزان مصرف انرژی در کارخانه‌های قند و شکر در وضعیت بحرانی قرار دارد. این صنعت به‌دلیل زیرساخت‌های ضعیف فن‌آوری و فرسودگی آن‌ها، یکی از صنایع پرمصرف انرژی است. از آن‌جایی‌که تولید انرژی با استفاده از سوخت‌های فسیلی در محیط‌زیست از اهمیت زیادی برخوردار است، بنابراین مسئله‌های اقتصادی و محیط‌زیستی و تعهدات این صنعت می‌تواند حرکتی به‌سوی شرایط بهتر را به همراه داشته باشد. پس، نیاز به پیگیری یک سیاست جدید برای تولیدکنندگان و انجام شیوه‌های انرژی نو و کارآمد برای ایجاد نظام‌های تولید پایدار و بدون اخلال در منابع طبیعی دارد (Talabi & Goshaishi, 2015).

استفاده بهینه از منابع انرژی و بهبود بهره‌وری مصرف انرژی یک مسیر ممکن برای کاهش زیان‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌های انرژی در تولید موادغذایی محسوب می‌شود که صرفه‌جویی مالی، حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی هوا را به ارمغان می‌آورد. منابع طبیعی محدود و اثرات سوءاستفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی برای استفاده مؤثر از آن را در بخش کشاورزی ضروری ساخته است (Mousavi-Avval, Rafiee, & Mohammadi, 2011). بر این اساس استفاده از روش‌های نوین بهینه‌سازی، یکی از فاکتورهای مهم به‌منظور استفاده درست از مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. بهینه‌سازی در یک سامانه، فرآیندی است که در طی آن، با تغییر مقادیر ورودی یا خروجی می‌توان به بیشترین میزان سود یا کمترین میزان زیان دست یافت (Elhami, Akram, & Khanali, 2016). ازجمله روش‌های بهینه‌سازی می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک[1] (الهام‌گرفته از تکامل بیولوژیکی انسان و سایر موجودات)، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها[2] (بر مبنای حرکت بهینه مورچه‌ها)، الگوریتم رقابت استعماری[3] و روش بازپخت شبیه‌سازی‌شده[4] (با الهام‌گیری از فرآیند تبرید فلزات) اشاره نمود. الگوریتم‌های بهینه‌سازی معرفی‌شده، به‌طور عمده الهام‌گرفته از فرآیندهای طبیعی می‌باشند و در ارائه این الگوریتم‌ها به سایر نمودهای تکامل انسانی توجهی نشده است (Kochenderfer & Wheeler, 2019). الگوریتم رقابت استعماری یک مدل ریاضیاتی قوی بوده است که به‌صورت گسترده در جهت نیل به اهداف عالی سازمان و اندازه‌گیری کارایی یک سامانه تولیدی به‌کار برده می‌شود (Jacobs, Smith, & Street, 2006).

در تحقیقی به بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشارات زیست‌محیطی در تولید هندوانه در استان کرمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه پرداخته شد. نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی با تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چندهدفه به‌وضوح نشان داد که میزان مصرف بهینه نهاده‌ها که از بهینه‌یابی چندهدفه حاصل شده به‌طور معناداری کمتر از نتایج تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد (Shamshirband *et al.*, 2015). در پژوهشی دیگر، به‌ترتیب ۳/۱۲ درصد و ۵/۱۱ درصد از کل انرژی ورودی عدس و نخود زراعی در تحلیل پوششی داده‌ها و در بهینه‌یابی چندهدفه به‌ترتیب ۱۷/۴۵ درصد و ۱۸/۵ درصد کل میزان انرژی ورودی برای این دو محصول، قابلیت ذخیره‌سازی داشتند (Elhami *et al.*, 2016). در مطالعات دیگری نیز از الگوریتم ژنتیک به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در محصولات زراعی و گلخانه‌ای در استان اصفهان (Khoshnoisan, Rafiei, Omid, Kihani, & Movahedi, 2012) و تولید بادام زمینی در استان گیلان (Nabavi Pelesarai, Pakrovan Cherudeh, & Ghasemi Mobatkar, 2022) استفاده شد و نتایج رضایت‌بخشی حاصل شد.

با توجه به بررسی منابع و تحقیقات انجام‌شده در زمینه مصرف انرژی و مسایل زیست‌محیطی مرتبط با آن در تولید محصولات

1- Genetic algorithms
2- Ant colony optimization
3- Imperialist Competitive Algorithm
4- Simulated Annealing

کشاورزی، مشخص شد که نتایج متفاوتی در تولید محصولات کشاورزی حاصل شده است. در مسئله‌های بهینه‌سازی، شناسایی روشی که بالاترین عملکرد را برای حل مسئله مورد بررسی، داشته باشد، ضروری است. بنابراین در این تحقیق علاوه‌بر بررسی روند مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی در تولید شکر در بخش صنعت نیشکر در استان خوزستان، به مقایسه دو روش الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک جهت بهینه‌یابی آن نیز پرداخته شده و راهکارهای مؤثری جهت بهینه‌سازی در بخش صنعت به‌منظور بهبود کارایی انرژی و همچنین کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بهینه در نهاده‌ها، ارائه شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، به ارزیابی شاخص‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی آن در صنعت تولید شکر در کارخانه شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا که یکی از شرکت‌های هفت‌گانه وابسته به شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان است، پرداخته شد.

به‌منظور دستیابی به اطلاعات موردنیاز جهت تکمیل این مطالعه، روش‌های مختلفی ازجمله تکمیل پرسشنامه، استفاده از داده‌های ثبت‌شده در شرکت، گفتگو و مصاحبه با کارشناسان، استفاده از آمار موجود در کتابخانه‌ها و برخی پایگاه داده استفاده شد. جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوط به وضعیت صنعت تولید شکر در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوطه در مراحل مختلف پژوهش، با کارشناسان شرکت کشت و صنعت دهخدا، مصاحبه به‌عمل آمد و نظرات آن‌ها در قالب پرسش‌نامه جمع‌آوری گردید. همچنین از آمار و اطلاعات موجود در کشت و صنعت موردمطالعه و آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی و ترازنامه انرژی استفاده شد.

از آن‌جایی‌که ارزیابی چرخه زندگی یک محصول تمامی مراحل حیات آن محصول را از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی ضایعات به‌جامانده در برمی‌گیرد، بنابراین جهت دسترسی به برخی اطلاعات لازم همانند فرآیند تولید و استخراج مواد اولیه و میزان آلایندگی منتشرشده از این فرآیندها از برخی از پایگاه‌های داده‌های معتبر استفاده شد که مهم‌ترین آن پایگاه داده اکواینونت[1] بود که در بیشتر پژوهش‌های ارزیابی چرخه حیات مورد استفاده قرار می‌گیرد. راهنمایی‌های لازم برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی براساس روش ارزیابی چرخه زندگی توسط ISO14040 ارائه شده است (ISO, 2006). در این روش همه منابع و نهاده‌های ورودی و همچنین مقادیر آلاینده‌هایی که با استفاده از انواع مختلف ورودی‌ها به محیط‌زیست رهاسازی می‌شوند، بر اساس واحد مرجع در نظر گرفته می‌شود (Guinee & Lindeijer, 2002). واحد مرجع، یک تن شکر تولیدی در کارخانه استحصال شکر شرکت کشت و صنعت دهخدا می‌باشد. در این مطالعه، روش ارزیابی تاثیرات زیست‌محیطی براساس مدل IMPACT 2002+ انجام شد. با استفاده از این روش، ارتباط بین تحلیل سیاهه چرخه زندگی و دسته‌های نقطه میانی[2] (مواد سرطان‌زا، مواد غیرسرطان‌زا، مواد معدنی تنفسی، تابش یونیزه، تخریب لایه اوزن، تاثیرات تنفسی، مسمومیت آبزیان، مسمومیت زمین، اسیدی شدن خاک، اشغال اراضی، مسمومیت آبی، اتروفیکاسیون، گرمایش جهانی، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و استخراج معادن) با چهار دسته خسارت[3] (سلامت انسان، کیفیت زیست‌بوم، تغییرات اقلیم و منابع) بررسی شد. جهت ارزیابی اثرات چرخه زندگی محصول تحت مطالعه، داده‌های به‌دست‌آمده از مرحله سیاهه چرخه زندگی وارد نرم‌افزار سیماپرو[4] نسخه ۹.۱.۱.۱ شد.

در این پژوهش از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده برای تعیین حجم نمونه استفاده شد. حجم نمونه با استفاده از رابطه کوکران[5]، ۳۰ نمونه برآورد گردید (Kizilaslan, 2009).

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2+t^2S^2} \quad (۱)$$

که در آن:

N: اندازه جامعه آماری،

t: ضریب اطمینان قابل‌قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t- استیودنت به‌دست می‌آید.

S: برآورد واریانس صفت موردمطالعه در جامعه

d: دقت احتمالی مطلوب

n: حجم نمونه است.

برای تخمین انحراف معیار جامعه، یک نمونه اولیه از ۳۰ مزرعه به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس نسبت انرژی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم موردبررسی در این تحقیق انتخاب شد و انحراف معیار آن به‌دست آمد؛ سپس اندازه نمونه موردنیاز برآورد گردید.

همچنین شاخص‌های انرژی در سامانه تولیدی موردنظر، با استفاده از محتوی انرژی نهاده‌ها و ستاده در تولید نیشکر و شکر تولیدی، بررسی شد که یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرآیند تحلیل انرژی محسوب می‌شود (جدول ۱).

1- Ecoinvent

2- Midpoint categories
3- Damage categories
4- SimaPro
5- Cochran

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده در تولید نیشکر و شکر استحصالی

Table 1- Energy content of inputs and outputs in the production of sugarcane and sugar

عنوان Title	واحد Unit	محتوای انرژی Energy content (MJ unit^{-1})	مرجع Reference
		نهاده‌ها Inputs	
نیروی انسانی Manpower	H	1.96	(Nabavi-Pelesaraei, Rafiee, Saeid Mohtasebi, Hosseinzadeh-Bandbafha, & Chau, 2019)
ماشین‌ها Machines	kg	142.7	(Kitani, 1999)
ماشین‌ها و تجهیزات ثابت Machines and fixed equipment	kg	9.00	(Kitani, 1999)
سوخت دیزل Diesel fuel	L	56.31	(Kaab, Sharifi, Mobli, Nabavi-Pelesaraei, & Chau, 2019b)
الکتریسیته Electricity	kWh	12.00	(Nabavi-Pelesaraei, Abdi, Rafiee, & Taromi, 2014)
آب Water	L	1.02	(Kitani, 1999)
گاز طبیعی Natural gas	m^3	49.50	(Mohseni, Borghei, & Khanali, 2018)
آهک Lime	kg	499.26	(Kaab *et al.*, 2019b)
نیشکر Sugar cane	kg	1.20	(Kaab *et al.*, 2019b)
		ستانده Outputs	
شکر Sugar	kg	15.40	(Kaab *et al.*, 2019b)

در ادامه، بعضی از شاخص‌ها که امکان شناخت جامع از وضـعیت انرژی در کشاورزی را ارائه می‌دهند، شامل نسبت انـرژی[1]، بهـره‌وری انرژی[2]، انرژی ویژه[3] (شدت انـرژی) و افـزوده خـالص انـرژی[4] طبـق روابط (۲) تا (۵) محاسبه شد (Kaab *et al.*, 2019b).

$$ER=\frac{Output}{Input} \quad (۲)$$

ER: نسبت انرژی

Output: انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)

Input: انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)

$$EP=\frac{Y}{Input} \quad (۳)$$

EP: بهره‌وری انرژی

Y: عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)

Input: انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)

$$SE=\frac{Input}{Y} \quad (۴)$$

SE: شدت انرژی

Input: انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)

Y: عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)

$$NEG=Output-Input \quad (۵)$$

NEG: انرژی خالص افزوده

Output: انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)

Input: انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)

نسبت انرژی بیانگر نسبت بین کالری گرمایی محصولات خروجی و کل انرژی صرف‌شده در نهاده‌های تولید است؛ فاقد واحد می‌باشد و مقدار انرژی به‌دست‌آمده به‌ازای هر واحد مصرف انرژی برای تولید را نشان می‌دهد.

شدت انرژی بسته به نوع محصول کشـاورزی، موقعیـت و زمـان، متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولید محصـول مـوردنظر باشـد. شـدت انرژی نشان‌دهنده مصرف انرژی برای تولیـد یـک واحـد از محصـول است. واحد شدت انرژی مگاژول بر کیلوگرم است.

بهره‌وری انرژی عکس شدت انرژی است و بیان‌کننده مقدار تولید

1- Energy Ratio (ER)
2- Energy Productivity (EP)
3- Specific Energy (SE)
4- Net Energy Gain (NEG)

محصول به‌ازای هر واحد انـرژی مصرف‌شـده اسـت (Yang *et al.*, 2022).

افزوده خالص انرژی یا انرژی خالص، تفاضل بین انرژی ناخـالص تولیدشده و کل انرژی موردنیاز برای تولید است. واحد افـزوده خـالص انرژی مگاژول بر هکتار است.

انرژی نهاده‌های تولیدشده در کشاورزی در اولین تقسیم‌بندی خود بـه دو گـروه مسـتقیم و غیرمسـتقیم تقسـیم‌بندی می‌شـوند. انـرژی غیرمستقیم شامل نیشـکر، آب، ماشـین‌ها و آهـک و انـرژی مسـتقیم شامل نهاده‌های نیروی انسـانی، گـاز طبیعـی و الکتریسـیته مصـرفی می‌باشد. در تقسیم‌بندی دیگر این انـرژی بـه دو دسـته تجدیدپـذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. نیروی انسانی، نیشکر و آب جزو انـرژی تجدیدپذیر و الکتریسیته، گاز طبیعی، ماشـین‌ها و آهـک جـزو انـرژی تجدیدناپذیر می‌باشند (Kosemani & Bamgboye, 2020).

ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سـازی بـه‌عنوان روش‌هـای هوشـمند بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار متلب (Matlab 2019b) انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج حاصله، متوسط مصرف انرژی برای تولید یک تـن شکر در کارخانه، قبـل از بهینـه‌سـازی ۷۴۴۱۵/۱۶ مگـاژول بـر تـن ارزیـابی شـد کـه در روش الگـوریتم ژنتیـک بـه میـزان ۶۱۷۲۸/۰۳ مگاژول بر تن (۱۷/۰۵ درصد) و در روش الگوریتم رقابـت اسـتعماری به میزان ۵۴۷۶۷/۸۳ مگاژول بر تـن (۲۶/۴۰ درصـد) کـاهش یافـت. قبل و پس از بهینه‌سازی، گاز طبیعی بیشترین سهم از کل نهاده‌هـا را به خـود اختصـاص داد در صـورتی‌که سـهم نیـروی انسـانی از سـایر نهاده‌ها کمتر بود (جدول ۲).

جدول ۲- انرژی مصرفی نهاده‌ها و ستانده در کارخانه تولید شکر قبل و پس از بهینه‌سازی

Table 2- Energy consumption of inputs and outputs in the sugar factory before and after optimization

عنوان Title	قبل از بهینه‌سازی Before optimization			الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm			الگوریتم رقابت استعماری Imperialist competitive algorithm		
	مقدار Amount (units ton^{-1})	مقدار Amount (MJ ton^{-1})	درصد Percentage	مقدار Amount (units ton^{-1})	مقدار Amount (MJ ton^{-1})	درصد Percentage	مقدار Amount (units ton^{-1})	مقدار Amount (MJ ton^{-1})	درصد Percentage
نهاده‌ها Inputs									
نیروی انسانی Manpower	76.23	149.42	0.20	69.62	136.46	0.22	64.03	125.51	0.23
ماشین‌ها Machines	40.07	360.60	0.48	35.65	320.89	0.51	33.52	307.71	0.55
گاز طبیعی Natural gas	1209.23	59857.05	80.44	1003.12	49654.89	80.44	875.48	43336.50	79.13
الکتریسیته Electricity	24.67	296.00	0.40	23.36	280.37	0.45	22.31	267.76	0.49
آب Water	342.37	349.21	0.47	329.28	335.87	.54	316.07	322.39	0.59
آهک Lime	330.67	525.76	0.71	308.71	490.86	0.79	273.06	434	0.79
نیشکر Sugar cane	10730.93	12877.12	17.30	8757.24	10508.69	17.02	8316.47	9979.76	18.22
کل انرژی نهاده‌ها Total input energy		74415.16			61728.03			54767.83	
ستانده Output									
شکر Sugar	1000	15400		1000	15400		1000	15400	

در پژوهشی که بـا هـدف بهینه‌سـازی انـرژی و انتشـار گازهـای گلخانه‌ای محصول پرتقال در شهرسـتان دزفـول، بـا کمـک دو روش بهینه‌یابی تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چندهدفه اجرا شد. با توجه به نتایج حاصل از روش تحلیـل پوششـی داده‌هـا بـر اسـاس مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر و روش اندازه‌گیری ورودی محور، میانگین کارایی فنی، کـارایی فنـی خـالص و کـارایی مقیـاس به‌ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ به‌دست آمد. نتایج بهینه‌سازی مصـرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌هـا

نشان داد که حدود ۴/۳۶ درصد از انرژی پرتقال، پتانسیل ذخیره شدن دارد که کودهای شیمیایی و سوخت دیزل بیشترین مقدار انرژی ذخیره‌شده را از کل انرژی ذخیره‌شده دارا می‌باشند. همچنین تحلیل پوششی داده‌ها قادر به کاهش ۳۴/۳۸ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار از گازهای گلخانه‌ای در محصول پرتقال گردید. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک نشان داد اگر تمامی نهاده‌ها به‌صورت کاملا بهینه مصرف شود، می‌تواند انرژی مصرفی در تولید پرتقال در منطقه موردمطالعه را به میزان ۲۶/۱ درصد کاهش دهد که در نتیجه کاهش این عامل ورودی، انتشار گاز گلخانه‌ای می‌تواند به میزان قابل‌توجهی کاهش پیدا کند. همچنین نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی برای تولید پرتقال در حالت ایده‌آل می‌تواند ۳۲۸۱۰/۶۱ مگاژول در هکتار باشد (Sabz Alipour & Bagherpour, 2022)، که با نتایج اخیر همسو بوده و نقش الگوریتم‌های فراابتکاری در صرفه‌جویی و کاهش میزان مصرف انرژی نهاده‌های تولید شکر در بخش صنعت را نشان داده است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد گاز طبیعی با کاهش ۱۶۵۲۰/۵۵ مگاژول بر هکتار به میزان ۲۷/۶۰ درصد بیشترین کاهش مصرف انرژی را در روش ارزیابی الگوریتم رقابت استعماری را داشت. این در حالی است که به روش الگوریتم ژنتیک بیشترین کاهش مصرف انرژی در ماشین‌ها (۱۸/۳۹ درصد) مشاهده شد. کمترین میزان کاهش انرژی مصرفی در روش الگوریتم ژنتیک مربوط به گاز طبیعی (۳/۸۲ درصد) و در روش الگوریتم رقابت استعماری مربوط به مصرف آب (۷/۶۸ درصد) بود. در حالت کلی کاهش انرژی در الگوریتم ژنتیک به میزان ۱۷/۰۴ درصد و الگوریتم رقابت استعماری ۲۶/۴۰ درصد در کارخانه تولید شکر مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- انرژی ذخیره‌شده نهاده‌ها در کارخانه تولید شکر پس از بهینه‌سازی

Table 3- The stored energy of the inputs in the sugar factory after optimization

	الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm		الگوریتم رقابت استعماری Imperialist competitive algorithm	
عنوان Title	مقدار Amount (MJ ton^{-1})	درصد Percentage	مقدار Amount (MJ ton^{-1})	درصد Percentage
نیروی انسانی Manpower	12.95	8.67	23.90	16.00
ماشین‌ها Machines and tools	39.71	18.39	58.88	16.33
گاز طبیعی Natural gas	10202.16	3.82	16520.55	27.60
الکتریسیته Electricity	15.63	5.28	28.23	9.54
آب Water	13.34	17.04	26.81	7.68
آهک Lime	34.90	11.01	91.58	17.42
نیشکر Sugar cane	2368.43	6.63	2897.35	22.50
کل انرژی ذخیره‌شده نهاده‌ها The total stored energy of the inputs	12687.13	17.04	19647.34	26.40

انرژی کودهای شیمیایی در محصولات زراعی (Ghadrijani, 2016)، مصرف سوخت در گلخانه‌ها (Taki, Ajab Shirchi, Abdi, & Akbarpur, 2012) و الکتریسیته در محصولات باغی (Mahmoudi, Almasi, & Burqai, 2013) بیشترین مقدار انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. در تحقیق حاضر انرژی گاز طبیعی در صنایع تبدیلی نیشکر بیشترین مقدار انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. اصلاح خطوط انتقال برق و تولید انرژی الکتریکی از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند تا حد زیادی راندمان تولید و انتقال انرژی الکتریکی را افزایش دهد. با توجه به بالا بودن مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی در تولید محصولات کشاورزی پیشنهاد شده است تا به کشاورزان آموزش‌های لازم جهت استفاده صحیح از ماشین‌های کشاورزی در زمینه‌های مختلف آن داده شود تا با استفاده صحیح و اصولی از ماشین‌های کشاورزی در مصرف سوخت فسیلی صرفه‌جویی‌های لازم صورت گیرد (Ismail Portroujani, Emadi, Khojastepour, & Vahidi, 2013). در این تحقیق اگرچه در تولید شکر از گاز طبیعی، بیش از سایر سوخت‌ها استفاده می‌شود؛ اما نتایج حال از بهینه‌سازی گویای این است که امکان کاهش مصرف و بهینه‌سازی آن وجود دارد.

براساس نتایج شاخص‌های انرژی در کارخانه تولید شکر قبل و بعد از بهینه‌سازی، نسبت انرژی تولید شکر قبل از بهینه‌سازی ۰/۲۱ برآورد شده است که بعد از بهینه‌سازی مصرف انرژی در الگوریتم ژنتیک ۰/۲۴ و در الگوریتم رقابت استعماری ۰/۲۸ به‌دست آمد. همچنین بهره‌وری انرژی قبل از بهینه‌سازی ۰/۰۱ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد، در حالی‌که پس از بهینه‌سازی این مقدار تغییری نکرد. همچنین افزوده خالص انرژی از ۵۹۰۱۵/۱۶- مگاژول بر هکتار به ۴۶۳۲۸/۰۳- مگاژول بر هکتار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ۳۹۳۶۷/۸۲- مگاژول بر هکتار با استفاده از رقابت استعماری افزایش داشت (جدول ۴).

جدول ٤- شاخص‌های انرژی در کارخانه تولید شکر قبل و بعد از بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک
Table 4- Energy indicators in sugar factory before and after optimization using genetic algorithm

شاخص انرژی Energy index	واحد Unit	قبل از بهینه‌سازی Before optimization	بعد از بهینه‌سازی After optimization	
			الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm	الگوریتم رقابت استعماری Imperialist competitive algorithm
نسبت انرژی Energy ratio	-	0.21	0.24	0.28
بهره‌وری انرژی Energy efficiency	کیلوگرم بر مگاژول kg MJ^{-1}	0.01	0.01	0.01
انرژی ویژه Specific energy	مگاژول بر کیلوگرم MJ kg^{-1}	74.42	61.72	54.72
افزوده خالص انرژی Net energy gain	مگاژول بر تن MJ ton^{-1}	-59015.16	-46328.03	-39367.82

اشکال مختلف انرژی در کارخانه تولید شکر قبل و بعد از بهینه‌سازی با دو روش الگوریتم ژنتیک و رقابت استعماری ارزیابی گردید. انرژی مستقیم با روش الگوریتم ژنتیک دارای مقدار عددی ۵۰۰۷۱/۷۲ مگاژول بر تن و با روش الگوریتم رقابت استعماری با ۴۳۷۲۹/۷۸ مگاژول بر تن و نیز انرژی تجدیدناپذیر با روش الگوریتم ژنتیک ۵۰۷۴۷/۰۱ مگاژول بر تن و با روش رقابت استعماری با مقدار عددی ۴۴۳۴۰/۱۵ مگاژول بر تن بیشترین مصرف انرژی را داشتند که در تمامی اشکال انرژی، میزان مصرف بر اثر بهینه‌سازی کاهش نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵- اشکال مختلف انرژی در کارخانه تولید شکر قبل و بعد از بهینه‌سازی
Table 5- Different forms of energy in the sugar factory before and after optimization

اشکال انرژی Forms of energy	واحد Unit	قبل از بهینه‌سازی Before optimization	بعد از بهینه‌سازی After optimization	
			الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm	الگوریتم رقابت استعماری Imperialist competitive algorithm
انرژی مستقیم Direct energy	مگاژول بر تن MJ ton^{-1}	60302.47	50071.72	43729.78
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	مگاژول بر تن MJ ton^{-1}	14112.69	11656.31	11038.05
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	مگاژول بر تن MJ ton^{-1}	13375.75	1098.02	10427.67
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	مگاژول بر تن MJ ton^{-1}	61039.41	50747.01	44340.15

در تحقیقی که با هدف بهینه‌سازی تولید چغندرقند با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و ارزیابی چرخه عمر تولید شکر انجام شد، میزان اشکال مختلف انرژی پس از بهینه‌سازی کاهش محسوس را نشان داد، به‌طوری‌که روش تحلیل پوششی داده‌ها قادر به شناسایی واحدهای ناکارا و ارایه الگوی مناسب از نظر مقیاس یا میزان مصرف نهاده‌ها بوده و شاخص‌های انرژی را به مقدار قابل‌توجهی کاهش داد (Namdari, Rafiei, & Hosseinpour, 2015)، که با یافته‌های اخیر همسو بوده است.

یکی از مهم‌ترین رده‌های اثر زیست‌محیطی مورد بررسی در مطالعات ارزیابی چرخه زندگی، شاخص گرمایش جهانی است که

نتایج این مطالعه نشان داد که در ازای تولید هر تن شکر قبل از بهینه‌سازی ۱۹۲۳/۴۲ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به اتمسفر وارد شده است که پس از بهینه‌سازی این مقدار در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت استعماری به‌ترتیب ۱۶۰۷/۶۷ و ۱۵۳۱/۱۱ کیلوگرم کربن دی اکسید معادل کاهش یافت (جدول ۶).

جدول ٦- شاخص‌های ارزیابی چرخه زندگی در کارخانه تولید شکر (به‌ازای تولید یک تن شکر) قبل و بعد از بهینه‌سازی

Table 6- Life cycle assessment indicators in the sugar factory (per one ton of sugar production) before and after optimization

رده‌های اثر **Effect Category**	واحد **Unit**	قبل از بهینه‌سازی **Before optimization**	بعد از بهینه‌سازی **After optimization** الگوریتم ژنتیک **Genetic algorithm**	 الگوریتم رقابت استعماری **Imperialist competitive algorithm**
مواد سرطان‌زا Carcinogenic substances	kg C_2H_3Cl eq.	1785.74	1452.39	1383.23
مواد غیرسرطان‌زا Non-carcinogenic substances	kg C_2H_3Cl eq.	11666.68	9490.33	9038.41
مواد معدنی تنفسی Respiratory minerals	kg PM2/5 eq.	2.85	2.30	2.19
تابش یونیزه Ionizing radiation	Bq C-14 eq.	1472.19	1198.52	1141.45
تخریب لایه اوزون Depletion of the ozone layer	kg CFC-11 eq.	0.0003	0.0002	0.0002
تاثیرات تنفسی Respiratory effects	kg C_2H_4 eq.	1.67	1.34	1.27
مسمومیت آبزیان Aquatic poisoning	kg TEG water	591034.41	479603.11	456764.87
مسمومیت زمین Earth poisoning	kg TEG soil	351216.27	285493.93	271898.98
اسیدی شدن خاک Soil acidification	kg SO_2 eq.	64.21	51.89	49.42
اشغال اراضی Land occupation	m2org/arable	1449.86	1179.80	1123.62
مسمومیت آبی Water poisoning	kg SO_2 eq.	11.76	9.42	8.97
اتروفیکاسیون Eutrophication	kg PO_4 P-lim	0.24	0.19	0.18
گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	1923.42	167.67	1531.11
مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر Non-renewable energy consumption	MJ primary	50889.10	39279.08	37408.64
استخراج معادن Mining	MJ surplus	69.61	59.54	56.71

در پژوهشی که به بررسی میزان مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید کلوچه در استان گیلان پرداخته شد. روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی به‌منظور کاهش آلاینده‌های محیطزیست با استفاده از دو روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک چندهدفه ارائه گردید. نتایج نشان داد که ۳۰۵۳۳/۶۶ مگاژول انرژی برای تولید هر تن کلوچه مصرف می‌شود که بیشترین سهم انرژی مصرفی به گاز طبیعی با ۱۶۹۴۵/۲۸ مگاژول به‌ازای هر تن کلوچه تولیدی ارتباط دارد. طبق نتایج ارزیابی چرخه زندگی، شاخص گرمایش جهانی برای تولید هر تن کلوچه ۳۷۳۲/۰۹ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل تعیین گردید. بر اساس نتایج مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، میزان کل انرژی موردنیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها، درصد صرفه‌جویی انرژی و کاهش شاخص گرمایش جهانی به‌ترتیب برابر ۳۰۲۲۱/۵۸ مگاژول در تن، ۱/۰۲ درصد و ۱۹۰/۳۷ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به‌ازای تولید یک تن کلوچه به‌دست

آمد. اجرای الگوی پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک چندهدفه مصرف انرژی را ۲۱/۶۲ درصد کاهش داد که بیشترین درصد صـرفه‌جویی در انرژی در مصرف گردو در تولیـد کلوچـه دیـده شـد. براساس نتـایج بهینه‌سازی چندهدفه، میزان شاخص گرمایش جهـانی بـه‌ازای تولیـد یک تن کلوچه برابر ۲۹۲۳/۷۴ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل تعیـین شـد (Khanali, Mohammadnia Galshaklami, Akram, & Hosseinzadeh Bandbafha, 2018).

کاهش تاثیرات به‌ازای یک‌تن پس از بهینه‌سازی در رده‌های اثـر همان‌طور که مشاهده شد، بعد از فرآیند بهینه‌سازی در تمام رده‌هـای اثر کاهش محسوسی نشان دادند (جدول ۷).

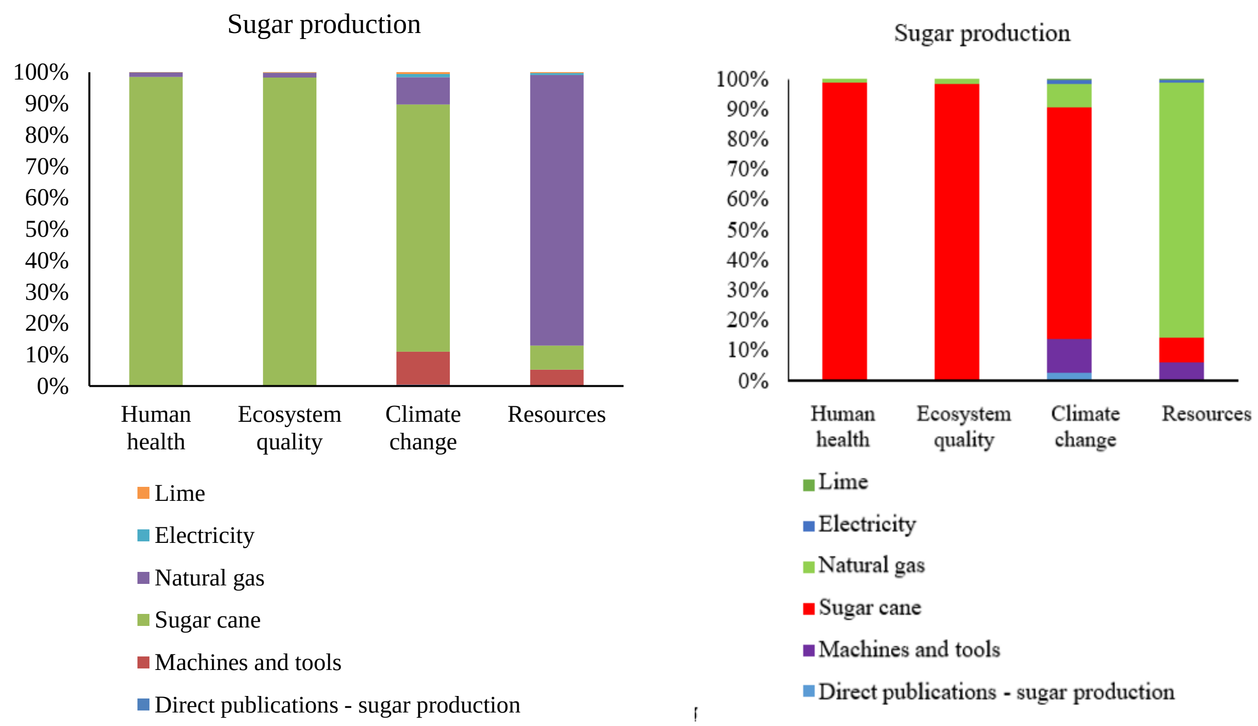
جدول ۷– کاهش شاخص‌های ارزیابی چرخه زندگی در کارخانه تولید شکر بعد از بهینه‌سازی

Table 7- Reduction of life cycle evaluation indicators in the sugar factory after optimization

رده‌های اثر Effect Category	واحد Unit	کاهش تاثیرات به‌ازای یک تن پس از بهینه‌سازی Reduction of impacts per ton after optimization	
		الگوریتم ژنتیک Genetic algorithm	الگوریتم رقابت استعماری Imperialist competitive algorithm
مواد سرطان‌زا Carcinogenic substances	kg C_2H_3Cl eq.	333.35	402.51
مواد غیر سرطان‌زا Non-carcinogenic substances	kg C_2H_3Cl eq.	2176.35	2628.27
مواد معدنی تنفسی Respiratory minerals	kg PM2/5 eq.	0.54	0.65
تابش یونیزه Ionizing radiation	Bq C-14 eq.	273.66	330.73
تخریب لایه اوزون Depletion of the ozone layer	kg CFC-11 eq.	0.0000766	0.0000871
تاثیرات تنفسی Respiratory effects	kg C_2H_4 eq.	0.33	0.39
مسمومیت آبزیان Aquatic poisoning	kg TEG water	111431.30	134269.54
مسمومیت زمین Earth poisoning	kg TEG soil	65722.33	79317.28
اسیدی شدن خاک Soil acidification	kg SO_2 eq.	12.32	14.79
اشغال اراضی Land occupation	m2org/arable	270.06	362.24
مسمومیت آبی Water poisoning	kg SO_2 eq.	2.33	2.78
اتروفیکاسیون Eutrophication	kg PO_4 P-lim	0.04	0.05
گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	315.74	392.30
مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر Non-renewable energy consumption	MJ primary	11610.02	13480.45
استخراج معادن Mining	MJ surplus	10.06	12.90

تاثیر هریک از نهاده‌ها در اثرات زیسـت‌محیطی بـه‌ترتیب قبـل و پس از بهینه‌سازی در کارخانه تولید شکر نشان می‌دهد کـه نیشـکر و گاز طبیعی بیشترین تأثیر را در سلامت انسـان دارنـد. همچنـین گـاز طبیعی بیشترین تأثیر را در دسته خسارت منابع داشـتند (شـکل ۱). در تحقیقی که بر روی نیشکر انجام شد مصرف الکتریسـیته و کودهـای شیمیایی به‌طور عمده نیتروژن و آب برای آبیاری بیشترین تـاثیر را در دسته خسارت منابع دارا بودند که کاهش مصرف نهاده‌های مـذکور از راه‌های مهم مدیریت بهتر انرژی در تولیـد نیشـکر در مـزارع معرفـی شده است (Kaab, Sharifi, & Mobli, 2018).

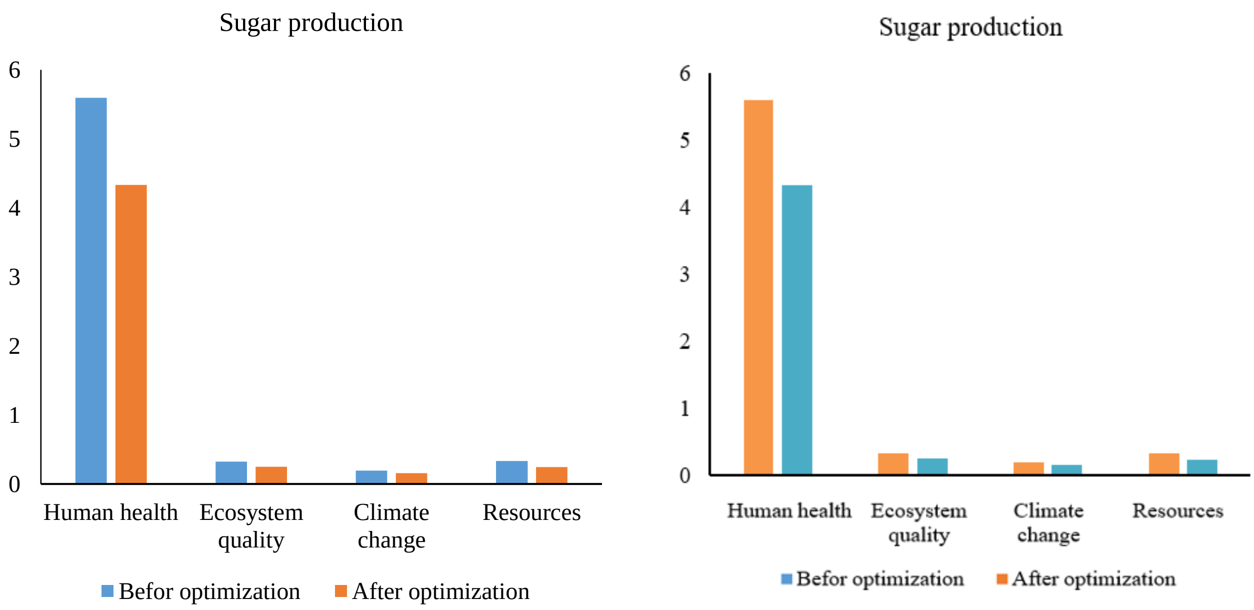
با توجه به محاسبات انجام‌شده، میزان تأثیر پس از بهینه‌سازی در هـر دو روش الگـوریتم فراابتکـاری کمتـر از حالـت عـادی (قبـل از بهینه‌سازی) می‌باشد (شکل ۲).



Imperialist competitive algorithm | Genetic algorithm

شکل ۱– سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و تأثیرآن‌ها در دسته خسارات در کارخانه تولید شکر پس از بهینه‌سازی

Fig.1. The contribution of each of the consumption inputs and their effect in the category of damages in the sugar factory after optimization



Imperialist competitive algorithm | Genetic algorithm

شکل ۲– مقایسه تأثیر بر دسته خسارات در کارخانه تولید شکر قبل و بعد از بهینه‌سازی

Fig.2. Comparison of the impact on the category of damages in the sugar factory before and after optimization

امروزه یکی از مهم‌ترین بحث‌های مطرح‌شده در توسعه پایدار کشاورزی مقدار انرژی تولیدی به‌ازای مقدار انرژی مصرفی می‌باشد. در کشاورزی به دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی سعی بر حداقل کردن میزان ورودی انرژی است (Jacobs *et al.*, 2006). در پژوهشی از دو الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات و ژنتیک برای شبیه‌سازی بار هیدرولیکی مزارع نیشکر دعبل خزاعی در چهار عمق استفاده شد. نتایج نشان داد که دقت الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات بالاتر از مدل‌های الگوریتم ژنتیک است. به‌طوری‌که مقدار RMSE و MAE اعماق مختلف در الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات دارای کمترین مقدار و ضریب R^2 در بین مدل‌ها بیشترین مقدار را دارا بود (Sayadishahraki, Naseri, & Soltani Mohammadi, 2018).

نتایج تحقیقی دیگر نیز نشان داد، ضمن حفظ و بهبود شرایط هیدرولیکی مجاز در شبکه توزیع آب، هزینه انرژی مصرفی روزانه در روش‌های الگوریتم ژنتیک با آشفتگی سریع و الگوریتم ژنتیک ساده به‌ترتیب به میزان حدود ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش پیدا کرد. همین‌طور استفاده از دو سناریوی مذکور به‌ترتیب، موجب کاهش ۲۰ الی ۶۰ درصدی ساعات کار پمپ‌ها شد که تاثیر به‌سزایی در کاهش استهلاک و افزایش طول عمر ایستگاه پمپاژ دارد (Karami, Moghadam, Faridhosseini, Sanainijad, & Ziaei, 2016). همچنین در تحقیق اکرم و همکاران (Akram, Khanali, Mohammadnia Galshaklami, & Hosseinzadeh Bandabafha, 2018) الگوی مصرف انرژی بیان‌شده توسط الگوریتم ژنتیک چندهدفه منجر به کاهش ۳۶/۳۰ درصدی در مصرف انرژی شد که بیشترین درصد صرفه‌جویی در انرژی مربوط به نیروی کارگری بود. بر اساس نتایج بهینه‌سازی چندهدفه، میزان گرمایش جهانی به‌ازای تولید یک تن کیک برابر ۱۰۰۳۸/۴۴ kg CO_2 eq تعیین شد.

مقایسه عملکرد دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات به‌منظور بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عملیات روسازی در حالت تک‌هدفه توسط طیبی و همکاران صورت گرفت و نشان داده شد الگوریتم ازدحام ذرات در زمان کمتر جواب‌های بهتری ارائه می‌دهد (Tayebi, Moghadas Nejad, & Mola, 2013). در پژوهش دیگری مقایسه دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات در دو حالت تک‌هدفه و چندهدفه صورت گرفت و نشان داده شد که در حالت تک‌هدفه، الگوریتم ازدحام ذرات و در حالت چندهدفه، الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر مرتب‌سازی نامغلوب عملکرد بهتری دارند (Gerami Matin, Vatani Nezafat, & Golroo, 2017).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از دو الگوریتم فراابتکاری به بررسی وضعیت مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی آن در صنعت تولید شکر در شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا پرداخته شد. در بخش کل انرژی نهاده‌ها در الگوریتم رقابت استعماری مقدار بهینه‌سازی ۲۶/۴۰ درصد محاسبه گردید. میزان کاهش مصرف گاز طبیعی در این روش ۲۷/۶۰ درصد و میزان صرفه‌جویی در انرژی مستقیم ۲۷/۴۸ درصد ارزیابی گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در اغلب شاخص‌های موردمطالعه در روش الگوریتم رقابت استعماری، بهینه‌سازی مصرف انرژی نسبت به روش الگوریتم ژنتیک ارجحیت داشته است و علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی را دارا خواهد بود. در حال حاضر، روش‌های متعددی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر وجود دارد که بهینه‌سازی بیشتر مصرف انرژی و تولید آلاینده‌های کمتر با استفاده از روش‌های فراابتکاری از جمله الگوریتم رقابت استعماری را در ارجحیت قرار می‌دهد که می‌توان با کاربرد ماشین‌هایی با بازدهی بالا و مصرف سوخت کمتر، به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای نایل شد. همچنین پیشنهاد می‌شود در صنعت تولید شکر از سوخت‌های زیستی مانند بیواتانول و بیوگاز که می‌توانند از پسماندهای حاصل از نیشکر تولید شود، استفاده گردد تا بار آلایندگی کاهش یابد.

مشارکت نویسندگان

میثم برون: جمع‌آوری داده‌ها، پردازش داده‌ها، تحلیل آماری، خدمات نرم‌افزاری، تصویرسازی نتایج، استخراج و تهیه متن اولیه

محمد قهدریجانی: نظارت و مدیریت، مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، ویرایش متن

عبدعلی ناصری: مشاوره فنی

بابک بهشتی: شبیه‌سازی عددی/کامپیوتری، اعتبارسنجی، ویرایش متن

References

1. Akram, A., Khanali, M., Mohammadnia Galshaklami, M., & Hosseinzadeh Bandabafha, H. (2018). Optimizing energy consumption and reducing environmental emissions in cake production using data overlay analysis and genetic algorithm. *Environmental Science Quarterly*, *17*(2), 103-124. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/envs.17.2.103

2. Elhami, B., Akram, A., & Khanali, M. (2016). Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agricultures*, *3*(3), 190-205. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.07.002
3. Ghadrijani, M. (2016). Determining the energy consumption of wheat and potato production at different levels of cultivation in west Isfahan. Master's thesis. University of Tehran. (in Persian with English abstract).
4. Gerami Matin, A., Vatani Nezafat, R., & Golroo, A. (2017). A comparative study on using meta-heuristic algorithms for road maintenance planning: Insights from field study in a developing country. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *4*, 477-486. https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.06.004
5. Guinee, J. B., & Lindeijer, E. (2002). Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards (Vol. 7). Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/bf02978897
6. Ismail Portroujani, M., Emadi, B., Khojastepour, M., & Vahidi, A. (2013). *Optimizing energy consumption in the production of agricultural products, a review study*. National Conference on Optimizing Energy Consumption in Science and Engineering, Babol. (in Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/300243
7. ISO. (2006). 14040 International Standard. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. https://doi.org/10.1065/lca2005.03.001
8. Jacobs, R., Smith, P., & Street, A. (2006). *Measuring efficiency in health care: Analytic techniques and health policy*, Cambridge University Press: Cambridge. https://doi.org/10.1017/cbo9780511617492
9. Kaab, A., Sharifi, M., & Mobli, H. (2018). Analysis and optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions in sugarcane production using data overlay analysis. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *50*(1), 19-30. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.251593.665035
10. Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. W. (2019a). Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. *Science of The Total Environment*, *664*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.004
11. Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. W. (2019b). Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production. *Energy*, *181*, 1298-320. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.002
12. Kitani, O. (1999). Energy and biomass engineering, CIGR handbook of agricultural engineering. ASAE Publications, St Joseph, MI.
13. Karami, J., Moghadam, A. R., Faridhosseini, A. R., Sanainijad, H., & Ziaei, A. N. (2016). Optimization of energy consumption in pumping stations using Darwin Scheduler tool. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, *2*(1), 12 p. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22112/jwwse.2017.87910.1006
14. Khanali, M., Mohammadnia Galshaklami, M., Akram, A., & Hosseinzadeh Bandbafha, H. (2018). Optimizing energy consumption and reducing environmental pollutants in the production of cookies using data envelopment analysis techniques and genetic algorithm. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *20*(72), 162-143. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/erams.2018.115061.1215
15. Khoshnoisan, B., Rafiei, Sh., Omid, M., Kihani, A., & Movahedi, M. (2012). Assessing of energy indices and environmental impacts of potato production (Case study: Fereydoonshahr region, Isfahan province). *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *44*(1), 66-57. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijbse.2013.36164
16. Kizilaslan, H. (2009). Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Apply Energy*, *86*, 1354-1358. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.009
17. Kochenderfer, M. J., & Wheeler, T. A. (2019). *Algorithms for optimization*. Mit Press.
18. Kosemani, B. S., & Bamgboye, A. I. (2020). Energy input-output analysis of rice production in Nigeria. *Energy*, *207*, 118258. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118258
19. Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2016). Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 343-350. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.056
20. Mahmoudi, N., Almasi, M., & Burqai, S. A. M. (2013). Estimation of energy consumption indicators in pistachio production in Khatam city, Yazd province. The first national conference on sustainable development in arid and semi-arid regions. Abarkooh. (in Persian with English abstract).
21. Malek, R., Hashemian, S. M., & Mehrgan, M. (2018). Energy and exergy analysis of the simultaneous production system in the sugar production process in Shahrood sugar factory and the feasibility of improving the technical and economic conditions. Master's thesis. Shahrood University of Technology. (in Persian with English abstract).
22. Mohseni, P., Borghei, A. M., & Khanali, M. (2018). Coupled life cycle assessment and data envelopment analysis for mitigation of environmental impacts and enhancement of energy efficiency in grape production. *Journal of Cleaner Production*, *197*, 937-947. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.243
23. Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., & Mohammadi, A. (2011). Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy*, *36*(2), 909-916.

https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.020

24. Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, Sh., & Taromi, K. (2014). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emission of rice production. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, *7*(4), 155-162. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2014.06.001
25. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Saeid Mohtasebi, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2019). Assessment of optimized pattern in milling factories of rice production based on energy, environmental and economic objectives. *Energy*, *169*, 1259–1273. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.106
26. Nabavi Pelesarai, A., Pakrovan Cherudeh, M.R., & Ghasemi Mobatkar, H. (2022). Forecasting energy output and greenhouse gas emissions in peanut production: a case study of Astana Ashrafieh city, Gilan province. Quarterly *Journal of Economic Research and Agricultural Development of Iran*, *53*(1), 145-162. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.306056.668924
27. Najafi, P., Fehresti Sani, M., Nazari, M. R., & Neshat, A. (2018). Investigating the economic and environmental effects of optimizing the sugar beet distribution network in Iran's sugar supply chain. *Environmental Science Quarterly*, *17*(2), 31-42. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/envs.17.2.31
28. Namdari, M., Rafiei, Sh., & Hosseinpour, S. (2015). Decreasing Environmental Burden by improving efficiency of sugar beet production using data envelopment analysis approach. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *47*(2), 361-353. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.58785
29. Sabz Alipour, F., & Bagherpour, H. (2022). Optimizing energy and reducing greenhouse gas emissions in orange production using data envelopment analysis and genetic algorithm (case study: Dezful city). *Environmental Science and Technology Quarterly*, *23*(8), 223-233. (in Persian with English abstract).
30. Sayadishahraki, A., Naseri, A. A., & Soltani Mohammadi, A. (2018). Simulation of hydraulic load using particle accumulation optimization algorithm and genetic algorithm (case study: Daabl Khaza'i sugarcane agro-industry fields). *Journal of Water Resources Engineering*, *12*(43), 13-24. (in Persian with English abstract). 20.1001.1.20086377.1398.12.43.2.4
31. Shamshirband, S., Khoshnevisan, B., Yousefi, M., Bolandnazar, E., Anuar, N. B., Wahab, A. W. A., & Khan, S. U. R. (2015). A multi-objective evolutionary algorithm for energy management of agricultural systems—a case study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *44*, 457-465. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.038
32. Soleimani, A. N., & Ghafarzadeh, H. R. (2022). Measuring the effects of household economic status on energy consumption (case study: Yazd city). *Sustainability, Development and Environment*, *2*(4), 75-51. (in Persian with English abstract).
33. TaheriGaravand, A., Asakereh, A., & Haghani, K. (2010). Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province. *International Journal of Environmental Sciences, 1*, 236-243.
34. Taki, M., Ajab Shirchi, Y., Abdi, R., & M. Akbarpur. (2012). Analyzing the energy efficiency of the greenhouse cucumber product by data envelopment analysis method: a case study (Shahreza city), Isfahan province. *Journal of Agricultural Machinery*, *2*(1), 27-37. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.v2i1.14291
35. Talabi, S. A., & Goshaishi, H. R. (2015). Analysis of the problems of sugar industry in Iran and comparison of production and imports in Iran and the world. *Second National Conference on Science and Technology*. 15*th* December, Tehran.
36. Tayebi, N. R., Moghadas Nejad, F., & Mola, M. (2013). Comparison between GA and PSO in Analyzing Pavement Management Activities. *Journal of Transportation Engineering*, *140*, 130613024931003. https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000590
37. Yang, Z., Zhu, Y., Zhang, J., Li, X., Ma, P., Sun, J., Sun, Y., Ma, J., & Li, N. (2022). Comparison of energy use between fully mechanized and semi-mechanized rice production in Southwest China. *Energy*, *245*, 123270. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123270